



# Yüksek Hidrostatik Basınç ve Ultrasonun Gıda Koruma Yöntemi Olarak Kullanımı

Leyla SAYIN<sup>1</sup>, Canan Ece TAMER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa,  
\*e-posta: etamer@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.07.2014; Kabul Tarihi: 17.09.2014

**Özet:** Gıda endüstrisinde ısılmayan işlemlerin uygulanması sadece gıdaların raf ömrünün artırılması amacıyla değil, aynı zamanda; güvenilir, besinsel ve duyuşal açıdan daha kaliteli gıdaların üretilebilmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde meyve ve sebze işleme sanayinde geleneksel ısıtma uygulamalarına alternatif olabilecek yeni teknikler üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Bu alanda üzerinde çalışılan yeni teknolojilere, yüksek hidrostatik basınç ve ultrason uygulamaları örnek verilebilir. Meyve ve sebze işleme sanayinde kullanılan geleneksel ısıtma teknikleriyle elde edilen ürünlere besin kayıplarının yanında duyuşal kayıplar da görülmektedir. Bu yeni teknolojilerin kullanımı ile üretilen ürünler, geleneksel ısıtma uygulanarak üretilen ürünlere göre daha besleyici ve daha yüksek duyuşal kalitede olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Bu derlemede, geleneksel gıda işleme yöntemlerine alternatif olarak meyve ve sebze işleme sanayinde kullanılan yüksek hidrostatik basınç ve ultrason, tekniklerinin temel özellikleri, mikroorganizma ve enzim inaktivasyonu üzerine etkileri ile meyve ve sebze işleme sanayindeki kullanımı açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek hidrostatik basınç, ultrason, meyve - sebze işleme teknolojisi.

## The Usage of High Hydrostatic Pressure and Ultrasound As a Food Preservation Method

**Abstract:** The application of non-thermal processes in the food industry is not only aimed for increasing shelf life of food but also producing reliable and better quality food in view of nutritional and sensorial aspects. Nowadays, studies on new techniques which can be an alternative to traditional heating applications in fruit and vegetable processing industry are increased. High hydrostatic pressure and ultrasound applications could be given as an example to these new technologies. Because of some nutritional and sensorial losses are determined in traditionally heated products, novel products obtained from high hydrostatic pressure and ultrasound are preferred due to their higher nutritional and sensorial qualities. In this review, basic properties of high hydrostatic pressure and ultrasound techniques and their effects on microorganisms and enzyme inactivation and also their use in fruit and vegetable processing industry were explained.

**Key Words:** High hydrostatic pressure, ultrasound, fruit - vegetable processing technology.

## Giriş

Isıl işlemlerin gıdalar üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla günümüzde Yüksek Hidrostatik Basınç ve Ultrason gibi ısıl olmayan işlemlere olan ilgi artmaktadır. Bu işlemler düşük sıcaklık derecelerinde çalışılan ve böylece ısı kaynaklı ürün değişimlerinin engellenmesine olanak sağlayan ısıl olmayan muhafaza teknikleri içerisinde değerlendirilmektedir. Isı uygulaması içermeyen bu işlemler oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda çalışmaya olanak sağlamakta; gıdaların lezzet, tekstür ve besin ögesi içerikleri daha iyi korunmakta ve mikroorganizmalar inaktive edilebilmektedir (Ross ve ark., 2003).

## Yüksek Hidrostatik Basınç

Yüksek Hidrostatik Basınç uygulaması, katı ve sıvı gıdaların ambalajlı veya ambalajsız olarak 100 - 1000 MPa basınca maruz bırakılması işlemi olup, gıdanın raf ömrünü arttırmada kullanılan geleneksel yöntemlerin ürün kalitesini (tat, aroma, yapı, renk) olumsuz etkilemesi nedeniyle geliştirilen alternatif yöntemlerden biridir (Arıcı, 2006; Akdemir Evrendilek ve ark., 2010).

Biyomoleküller, basınç altında Le Chatelier prensibine göre davranırlar. Bu prensibe göre, denge halindeki bir sistemde bir değişiklik yapılırsa, sistem bu değişikliğe karşılık bir tepki verecektir ve bir denge hali oluşacaktır. Bir sisteme basınç uygulandığında buna karşılık olarak hacmi küçültecek reaksiyonlar veya tepkiler teşvik edilecektir. Paskal prensibine göre yüksek basınç, ürünün büyüklüğü ve şekline bağlı olmadan gecikmesiz olarak etki gösterir. Isıl işlemlerde olduğu gibi en geç ısınan veya soğuyan nokta söz konusu değildir. Bu uygulama oda sıcaklığında gerçekleştiğinden konvansiyonel yöntemlerdeki gibi termal enerjiye gereksinim duyulmaz ve ürün yapısında, ısının neden olduğu olumsuzluklar ortaya çıkmaz (Mertens ve Deplace, 1993).

Yüksek hidrostatik basınç kovalent bağların parçalanmasına neden olmamaktadır. Bu durum, gıdaların tat, aroma, renk, vitamin ve besin öğeleri gibi, önemli kalite karakteristiklerini korurken, mikroorganizmaları inaktive etmeyi, enzimatik aktivitede geri dönüşümlü ve dönüşümsüz değişimlere yol açmayı da mümkün kılmaktadır (García-Risco ve ark., 2000). Yüksek basınçla sterilize edilmiş ürünlerde tekstür, tat ve besin öğelerinin korunması genel olarak daha üstündür (Matser ve ark., 2004).

Endüstriyel yüksek hidrostatik basınç sistemleri 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; basıncın uygulandığı yüksek basınç kabı, yüksek basınç üretim mekanizması, sıcaklık kontrol mekanizması, ürün yerleştirme ve taşıma sisteminden oluşmaktadır (Şanal ve Çalıklı, 2000).

Yüksek hidrostatik basınç elde etme yöntemleri, ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; dolaylı sıkıştırma yöntemi ve doğrudan sıkıştırma yöntemidir. Dolaylı sıkıştırma yönteminde; bir piston vasıtasıyla içinde basınç iletici sıvı bulunan kapta basınç oluşturulur. Ürün bu sıvı içinde ambalajlı olarak bulunur. Endüstriyel olarak ambalajlı ürünlerde bu yöntem kullanılır. Doğrudan sıkıştırma yönteminde ise, bir piston yardımıyla sıkıştırma uygulanır. Kap içindeki basınç bu piston tarafından oluşturulur. Meyve suyu gibi sıvı ürünlerde bu yöntem uygulanır (Mertens ve Deplace, 1993).

Yüksek hidrostatik basınç sterilizasyonu proseslerinin olumlu özellikleri kısaca aşağıda özetlenmiştir:

- Gıdalarda termal degradasyonlar önlenir,
- Proses termolabil komponentlere uygulanabilir,
- Ürünün doğal aroması, tadı ve rengi, vitamin içeriği önemli düzeyde etkilenmez,
- Proteinlerin sekonder ve tersiyer yapıları etkilenirken primer yapıları aynen kalır (aminoasitler etkilenmez),
- Koruyucu madde kullanılması gerekmeyen alternatif gıda hazırlama yöntemidir (Messens ve ark., 1997; Hendrickx ve ark., 1998; Ko ve ark., 2006; Garcia-Risco ve ark., 2000).

## Ultrason

Ultrason (sonikasyon); sözlük anlamı itibariyle, saniyede 20.000 veya daha fazla titreşim gerçekleştiren ses dalgaları ile enerji meydana getirilmesi olarak ifade edilmektedir. Genellikle, ultrason uygulamalarında 20 kHz' den 10 MHz'e kadar değişen frekanslar kullanılmaktadır. Ultrason uygulamalarının sınıflandırılmaları için üretilen ses alanının enerji miktarı en önemli ölçüttür. Ses gücü (W), ses yoğunluğu ( $W/m^2$ ), ses enerjisi yoğunluğu ise ( $W.s/m^3$ ) ile karakterize edilmektedir (Dolatowski ve ark.,2007; Knorr ve ark., 2004).

Ses enerjisi sürekli dalga-tipi bir hareket oluşturarak ortama girdiğinde, bu hareketin bir sonucu olarak boylamsal dalgalar oluşur ve bu durumda ortamdaki partiküller üzerinde bir sıkışma ve gevşeme yaratır. Uygulanan ses dalgasının büyüklüğü ve kullanılan frekansa bağlı olarak çok çeşitli uygulamalara olanak sağlayan bir seri fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler gerçekleştirebilmektedir. Yüksek şiddetli ultrasonikasyon uygulanan sıvıda yüksek basınç ve düşük basınçlı dalgalar oluşmaktadır (Knorr ve ark., 2004).

Düşük basınçlı dalga oluşumu sırasında, ultrasonik dalgalar küçük vakum baloncuklar meydana getirirler ve bu baloncuklar daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında, yüksek basınçlı dalga oluşumu ortaya çıkar ve eş zamanlı olarak içe doğru patlarlar. Bu olaya kavitasyon adı verilmektedir. Kavitasyon sonucunda 1000 atm'nin üzerinde basınç ve büyük bir enerji açığa çıkar. Bu enerji, kabarcıkların bulunduğu bölgeyi ısıtır ve kimyasal reaksiyonlara neden olur (Vercet ve ark., 2001).

Ultrason bazı sistemlerde tek başına yeterli olurken bazılarında yeterli inaktivasyon derecelerine ulaşmak için ısı ve/veya basınç gibi işlemlerle kombine edilerek kullanılması gerekmektedir. Bunlar; ultrason ve ısı işlem (termosonikasyon, TS), ultrason ve basınç (manosonikasyon, MS), ultrason, basınç ve ısı işlem (manotermosonikasyon, MTS) uygulamalarıdır (Rahman, 2007; McClements, 1995).

TS; sıcaklık ve ultrason tekniklerinin kombinasyonu sonucu proses sıcaklığı ve süresini azaltarak pastörizasyon ve sterilizasyon amacıyla kullanılabilir. Ortam sıcaklığı sıvının kaynama noktasına yakın değerlere ulaştığı zaman bu sıcaklıktaki sıvının buhar basıncının artması dolayısıyla kavitasyon şiddetinde azalma meydana gelmektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için ise TS işlemi basınç altında (100-700 kPa) gerçekleştirilmekte ve bu uygulamaya "manotermosonikasyon" denilmektedir. Böylelikle sıvının kaynama noktası üzerindeki sıcaklıklarda dahi etkili bir şekilde uygulama gerçekleştirilebilmektedir. MTS özet olarak; basınç, sıcaklık ve ultrason uygulamalarının

kombinasyonu olarak ifade edilmekte ve daha etkin enzim ve mikroorganizma inaktivasyonu sağlamaktadır (Knorr, 2004).

MTS uygulaması sonucu oluşan etki sinerjistik özellik göstermektedir. Yani meydana gelen toplam etki, bu etkiyi oluşturan her bir bileşenin (ultrason, ısı işlem ve basınç) tek başına kullanıldıklarında yarattığı etkilerin toplamından çok daha fazladır. Ultrason, hedef molekülleri ve/veya yapıları duyarlı hale getirmekte ve böylelikle ısı ve basınç daha etkili olabilmektedir (Rahman, 2007).

## **Yüksek Hidrostatik Basınç ve Ultrason Uygulamalarının Mikroorganizmalar Üzerine Etkisi**

Yüksek hidrostatik basınçın bakterileri öldürdüğüne ilişkin ilk rapor Roger tarafından 1895 yılında açıklanmış olmasına rağmen, 1985'e kadar basınç uygulamalarının potansiyel mikrobiyolojik etkileri gıda endüstrisinin dikkatini fazla çekmemiştir. Diğer taraftan, uygun ekipmanların dizayn edilememesi de işlemin uygulamalarını geciktirmiştir. Gıda endüstrisinde yüksek hidrostatik basınç ile mikrobiyal inaktivasyonu açıklayan önemli çalışma Bert Hite'in Temmuz 1899'da yayınlanan makalesidir. Basıncın mikroorganizmalarda zarar verdiği ilk bölgenin hücre zarı olduğu anlaşılmıştır. Basıncın sebep olduğu hücre zarındaki görev bozuklukları (malfonksiyonlar) membran proteinlerinin denatürasyonuna bağlı olarak, aminoasit alımının inhibisyonuna neden olmaktadır. Hücre morfolojisi basınç uygulamasıyla değişir ve hücre bölünmesi yavaşlar. Hücre için önemli enzimlerin denatüre olması ve ribozomun zarar görmesi mikroorganizmanın inaktivasyonuna neden olmaktadır (Farkas ve Hoover, 2000).

Gram-pozitif vejetatif bakteriler, çevresel etkenlere Gram-negatif bakterilerin vejetatif hücrelerinden daha dirençlidirler. Bu tespit çoğunlukla basınca karşı direnci de içine alır. Isıya dirençli bakteriler, genellikle ısıya duyarlı olanlardan daha yüksek oranda basınca dirençlidir (Metrick ve ark., 1989).

Bakteri sporları vejetatif hücrelere göre yüksek basınca daha fazla direnç gösterirler (Şanal ve Çalimli, 2000; Trujillo ve ark., 2002). Bakteri sporları 1000 MPa'da bile canlı kalabilirler (Trujillo ve ark., 2002). Butz ve ark. (1992) 25-40 °C sıcaklıklarda, 150 ve 450 MPa arasındaki basınçların bakteri sporları üzerine etkisini araştırmışlar ve nispeten daha düşük basınçlarla (60-100 MPa) bir ön işlemin yüksek basınçta sporların hızlandırılmış inaktivasyonlarına yol açacağını göstermişlerdir. Sporların inaktivasyonu için, yüksek hidrostatik basınçın iki aşamalı uygulanması önerilmiştir. İlk uygulama sporları çimlendirmekte veya aktive etmekte ve daha yüksek bir basınçta ikinci bir uygulama çimlenmiş sporları ve vejetatif hücreleri inaktive etmektedir (Heinz ve Knorr, 1998).

Bakterilerin logaritmik gelişme evresi başlangıcında, durgunluk veya ölüm evrelerine göre basınca daha duyarlı oldukları saptanmıştır (Alpas ve ark., 2000; Hugas ve ark., 2002; Trujillo ve ark., 2002; Moerman, 2005). Basiller, basınca koklardan daha duyarlıdır (Hugas ve ark., 2002; Park ve ark., 2003). Ökaryotik mikroorganizmalar basınca prokaryotiklerden daha dayanıklıdır (Moerman, 2005).

Brauch ve ark. (1990) bakteriyofajların 300-400 MPa arasındaki uygulamalarda dikkate değer biçimde inaktive olduğunu göstermiştir.

Isıl işlemler gıdalarda istenmeyen değişimlere neden olurken, ultrason oluşturduğu kavitasyon sayesinde mikroorganizmaları inaktive ederek gıdalarda daha az değişimlere yol

açmaktadır. Ultrason işleminin mikroorganizmaları öldürme etkisi onların hücre duvarlarını parçalaması ile meydana gelmektedir (Piyasena, 2003; Butz ve ark., 2002). Sonikasyon işlemi sayesinde kavitasyon oluşur ve gaz kabarcıkları da bu ortamda meydana gelir. Bu ultrason enerjisi gaz kabarcıklarındaki buharı etkin bir şekilde tutamadığı için gaz kabarcığı patlar ve böylece ortam yoğunlaşır. Yoğunlaşan ortam ani olarak yüksek bir sıcaklık ve basınç bölgesi oluşturur. Oluşan bu ortamda bulunan mikroorganizmaların hücre duvarları zarar görür ve inaktif hale gelirler. Bu ısıtılmış bölge bakterilerin ölmesini sağlamaktadır ancak çok sınırlı bir alanı kapsadığı için bakterilerin tamamını öldürememektedir (Piyasena, 2003).

Ultrasonun mikroorganizmaların inaktivasyonundaki etkisi birçok çalışmada araştırılmıştır. İnaktivasyon mekanizması ise akustik kavitasyon kaynaklı açığa çıkan ve basıncın hücrenin fonksiyonel bileşenlerini ve yapısını yıkıp, hücreyi parçalamasıyla açıklanmıştır (Ulusoy ve ark., 2007; Bozkurt ve İçier, 2009).

Mikrobiyal inaktivasyon açısından bir diğer mekanizma ise serbest radikal oluşumu ile açıklanmaktadır. Ultrason uygulaması sırasında OH<sup>-</sup> radikalleri ve hidrojen peroksit oluşmakta ve meydana gelen bu bileşenlerin önemli bakterisidal etkileri bulunmaktadır. Hücre ve hücre duvarı özelliklerinin mikroorganizmaların ultrason ile inaktivasyonunu önemli ölçüde etkilediği yönündeki görüş önem kazanmaktadır. Ayrıca her iki mekanizmanın etkili olabileceği de düşünülmektedir (Soria ve ark., 2010; O'Donnell ve ark., 2010; Ulusoy ve ark., 2011).

## **Yüksek Hidrostatik Basınç ve Ultrason Uygulamalarının Enzimlere Etkisi**

Gıdalara uygulanan ısı işlemlerin çoğu mikroorganizmaları öldürmeyi hedeflemekle birlikte, bu işlemlerin gıdalarda bozulmaya neden olan ve kaliteyi etkileyecek enzimlerin inaktivasyonunu sağlaması da çok önemlidir. Isıl işlemlere alternatif olacak yeni teknolojilerin geliştirilmesinde bu konuya çok dikkat edilmektedir. Basınç uygulamaları altında gıda enzimlerinin nasıl etkilendiği son yıllarda araştırılmaya başlanmıştır (Şanal ve Çalılı, 2000).

Mikroorganizmalar basınç uygulamaları sonucu genellikle inaktive olurken, enzimler inaktivasyon, aktivasyon veya varolan aktivitelerinin artması gibi tepkiler vermektedir (Gökmen ve Acar, 1995; Şanal ve Çalılı, 2000). Basınçla muamelede uygulanan basınç, uygulama süresi ve sıcaklığa bağlı olarak enzimi tamamen veya belli bir ölçüde, dönüşümlü veya dönüşümsüz olarak inaktive edebilir (İbanoğlu, 2002).

Mikroorganizmalar üzerine yüksek basıncın öldürücü etkisinin, denatürasyon sonrası bazı önemli enzimlerin inaktivasyonu sonucu gerçekleştiği, 100 - 300 MPa basınçlar arasında tersinir olan denatürasyonun, 300 MPa üzeri basınçlarda geri dönüşümsüz hale geçtiği ifade edilmiştir (Hoover ve ark., 1989).

Ultrasonun enzimler üzerine etkisi olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Ancak bir kısım araştırmacılar ultrasonun tek başına enzim aktivitesi üzerine etkili olmadığını belirtirken, bir kısmı ise akustik kavitasyonun enzimi fiziksel ve kimyasal yönden etkilediğini savunmaktadır. Ultrasonun enzim üzerine etkisinin, kullanılan enzime ve işlem parametrelerine göre değiştiği bilinmektedir (Barton, 1996). Ayrıca ultrason ile enzim inaktivasyonu farklı mekanizmalarla açıklanmıştır. Bu mekanizma genelde ultrasonun makromolekülleri depolimerize etmesi şeklindedir (Feng ve ark., 2008).

Ultrasonik dalgaların diğer işlemlerle (ısı ve/veya basınç) birlikte kullanıldığında daha etkili olduğu saptanmıştır (Rahman, 2007). Ultrason işlemi TS, MS ve MTS uygulamalarıyla birlikte süt ve meyve ürünlerinde bulunan lipoksigenaz (LOX), polifenoloksidaz (PPO), peroksidaz (POD) gibi enzimlere ve ısıya karşı dirençli olan lipaz ve proteaz enzimlerinin inaktivasyonunda etkili bir yöntemdir (O'Donnell ve ark., 2010).

## **Meyve Sebze İşleme Endüstrisinde Yüksek Hidrostatik Basınç ve Ultrason Uygulamaları**

Haşlama; dondurulacak, konserve edilecek veya kurutulacak meyve ve sebzelere uygulanan temel işlemlerden birisidir. Haşlamayla mikroorganizma yükünün düşürülmesi ve enzimlerin inaktivasyonu gibi yararlar yanında aynı zamanda hammaddenin etkin bir biçimde temizlenmesi, dokuların yumuşaması da sağlanmaktadır. Ancak konvansiyonel haşlamanın besin öğelerindeki kayıplar ve kalitenin düşmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Ayrıca haşlamada kullanılan suyun yol açtığı çevre kirliliği önemli bir sorun yaratmaktadır. Yüksek hidrostatik basıncın, suda haşlamaya göre avantajları ise; mikroorganizma sayısının düşürülmesinde daha etkin olması, mineral madde ve vitamin kaybının daha az olması ve dokularda meydana gelen yumuşamanın yaklaşık aynı düzeyde olmasıdır (Knorr, 1993; Gökmen ve Acar, 1995).

Farr (1990) yapmış olduğu çalışmada, yüksek basınç uygulaması sonrasında limon suyunda C vitamini kaybı olmadığını ve işlem sonrasında da limon suyunun taze meyve tadına sahip olduğunu bildirmiştir.

Greylfurt reçeli üzerine yapılan bir çalışmada, uygulanan basınç ve sıcaklık parametrelerinde, işlem görmüş örnekler ile işlem görmemiş örneklerin antioksidan kapasiteleri arasında önemli bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Iguar ve ark., 2013).

Meyve ve sebzelerde kalite kaybına neden olan enzimlerin, yüksek hidrostatik basınç uygulamasıyla inaktivasyonu üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. 250 MPa basınç altında 15 dakikalık işlem çilek püresindeki PPO aktivitesinde % 60 kayba; 230 MPa basınç uygulaması POD aktivitesinde % 25 kayba yol açarken, 250-400 MPa arasındaki basınçlarda her iki enzimin aktivitesinde artış görülmüştür (İbanoğlu, 2002). Portakal sularında, 300 MPa ve üzerindeki basınç uygulamalarında pektinesteraz aktivitesinde azalma saptanmıştır (Gökmen ve Acar, 1995). Ancak 500 MPa düzeyinde hidrostatik basıncın 15 dakika süreyle uygulanması bu yolla muhafaza edilen bazı meyve ve sebzelerin dokularında yumuşamalara neden olmuştur.

Yapılan bir çalışmada, Maillard reaksiyonunun yüksek hidrostatik basınç tarafından baskılandığı ve uygulanan basıncın kondensasyon olayından çok, esmerleşme reaksiyonu üzerine önemli derecede azaltıcı etkisinin olduğu belirlenmiştir (Tamaoka ve ark., 1991).

Isıya karşı duyarlı aroma maddeleri içeren mandarin ve diğer turunçgil sularının yüksek hidrostatik basınç ile muhafazasında 600 MPa düzeyindeki basıncın 30 dakika süreyle uygulanması ürünün muhafazasında başarıyla kullanılmaktadır (Ifuku ve ark., 1993; Takahashi ve ark., 1993).

Pektinmetilesteraz (PME) turunçgil sularında, özellikle portakal sularında bulanıklık stabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir. PME etkisiyle yüksek esterleşme dereceli pektinden metil alkol grupları ayrılarak düşük esterleşme dereceli pektin oluşmaktadır. Düşük esterleşme dereceli pektin de daha sonra portakal sularında bulunan kalsiyum

iyonları ile etkileşerek jelleşmekte ve oluşan jel dibe çökerek faz ayırımına neden olmaktadır. PME enziminin inaktivasyonu, portakal sularının pastörizasyonunda indikatör olarak dikkate alınmaktadır. Çünkü PME enzimi ısıya karşı portakal sularında bulunması muhtemel olan mikroorganizmalardan daha dirençlidir. Bu nedenle turunçgil suları 90°C’de 30-60 saniye pastörize edilerek PME’in inaktivasyonu sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda yüksek hidrostatik basıncın turunçgil sularında 50°C’de 400 - 600 MPa basınç uygulamasıyla PME’in inaktivasyonunda kullanılabileceği gösterilmiştir (Nienaber ve Shellhammer, 2001).

Kurutma işlemi gıda sanayinde önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan gıdaların renginde, tadında ve besin öğelerinde kayıplar görülmüş ve yeni alternatif yöntemlere başvurulmuştur (Fernandes, 2008). Ultrasonik dalgalar akustik kurutma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Konvektif ve akustik kurutma yöntemlerinin havuçta bulunan askorbik asit ve  $\beta$  karoten miktarı üzerine etkisi incelenmiş ve akustik kurutma işlemine tabi tutulan havuçlarda bulunan askorbik asit ve  $\beta$  karoten miktarındaki kaybın çok daha az olduğu belirlenmiştir (Frias ve ark., 2010). Buna ek olarak, muzun ultrasonik dalgalar yardımı ile kurutulmasında kurutma süresinde %11’e kadar düşüş gözlemlenirken, bu sonuç ultrasonik işlemin daha fazla miktarda suyun daha kısa sürede meyveden uzaklaştırılmasıyla açıklanmıştır (Fernandes, 2007). Ultrason uygulamasının, geleneksel kurutma yöntemlerine göre gıdalarda daha az kalite kaybına yol açtığı belirlenmiştir (Mason ve ark., 2005).

Wang ve ark. (2011)’nın, ultrasonun sarımsakta bulunan allyin liyaz enzimi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada taze sarımsaktan elde edilen enzim aktivitelerinin düşük frekans ve orta yoğunluklu ultrason işlemi ile geliştirilebileceğini göstermişlerdir. Ultrasonun dondurma işlemlerinde ürünün donması için gerekli süreyi kısaltıp, donmuş ürünün kalitesini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, yüksek enerjili ultrasonik uygulamanın kristalizasyon işlemini birçok yönden etkilediği saptanmıştır. Bunlar; kristal çekirdeklerinin oluşumunu desteklemesi, küçük ve düzenli kristallerin oluşumunu sağlaması ve bozuk yüzey yapısının engellemesidir (Luque de Castro ve ark., 2007; Virone ve ark., 2006). Ayrıca, birçok gıda ultrasonik dalgalar yardımı ile başarıyla dondurulmuştur (Zeng ve ark., 2006; Delgado ve ark., 2008). Ultrason uygulamasının donma süresine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ultrason işleminin patates dilimlerinin dondurulmasında donma süresini azalttığı tespit edilmiştir (Li ve ark., 2002).

Ultrasonun POD enzimi üzerine etkisi incelenmiş ve üç saatlik bir uygulama sonunda aktivitesinin %90’ını kaybettiği görülmüştür (Patist ve ark., 2008). Domates suyunda PME’in ısıtma (60 ve 65°C) ve TS (25  $\mu$ m, 50  $\mu$ m ve 75  $\mu$ m, 60°C ve 65°C) ile inaktivasyonu incelenmiş ve TS’ da 60°C ve 65°C’de sırayla 41.8 ve 11.7 dakika sonra PME aktivitesinde %90 oranında azalma olduğu görülmüştür. Aynı orandaki azalmayı yalnızca ısı işlem kullanılarak elde edebilmek için 60 ve 65°C’de sırasıyla 90.1 ve 23.5 dakika harcanmıştır (Wu ve ark., 2008).

Taze kesilmiş (fresh-cut) sebze ve meyvelerdeki kararma gıdanın tüketiciler tarafından kabul görmesi açısından önemli bir sınırlayıcı faktördür. PPO ve POD enzimleri taze kesilmiş meyve ve sebzelerdeki kararmadan sorumludur. Kararma işlemi taze kesilmiş gıdalarda hücre yapısının bozulup enzim ve substratın bir araya gelmesi ile oluşur. Ultrason ve askorbik asidin birlikte uygulanmasının taze kesilmiş elmada PPO ve POD enzimlerin inaktivasyonunda etkili olduğunu belirlenmiştir (Jang ve ark., 2011).

Diğer yandan, PME' in 60°C ve 65°C'de ısı ve termosonik işleme inaktivasyonu incelenmiş ve D değerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir (Wu ve ark., 2008). Sonikasyon işleminin yalnız başına portakal suyundaki PME'ın inaktivasyonunda yeterli olmadığı sonucuna varılmış ve maksimum akustik enerji yoğunluğunda (1.05 W/mL de 10 dak.) enzimin en yüksek oranda (% 62) etkisizleştirildiği belirlenmiştir (Kadkhodae ve ark., 2007). Cruz ve arkadaşları ise termosonik işleme (40 - 80 °C) su teresi kaynaklı POD enzimi aktivitesinde artış gözlemlerken, 82.5 - 92.5 °C sıcaklık aralığında aynı enzimin aktivitesinde azalma belirlemiştir. Ayrıca, enzim inaktivasyon hızının termosonik işleme daha yüksek olduğunu saptamışlardır (Cruz ve ark., 2008).

Knorr ve ark. (2004) portakal suyuna TS uygulamış ve askorbik asit degradasyonunun, sadece sıcaklık uygulanan örneklere göre daha düşük olduğunu belirlemiştir.

## Sonuç

Gıda endüstrisindeki tüketici taleplerinin değişmesine paralel olarak son yıllarda gıdaların işlenmesinde, özellikle ısı işleme alternatif olarak yeni teknikler ortaya çıkmıştır. Gıda endüstrisinde ısı işleme alternatif olarak kullanılan bu işlemler, mikrobiyolojik gelişimi önlemenin ve gıda kalitesini artırmanın yanı sıra fiziksel, besinsel ve organoleptik özelliklerin de korunması amacıyla uygulanmaktadır.

Yüksek basınç ve ultrason uygulamaları günümüzde hızlı bir şekilde yükselişe geçen, ısı işleme iyi bir alternatif olarak görülen, güncel gıda işleme teknikleridir. Yüksek hidrostatik basınç ve ultrason işlemleri raf ömrü uzun ve son tüketim tarihine kadar besleyici ve duyuş niteliklerini koruyan ürünlerin üretiminde uygulanmaktadır. Yüksek basınç ve ultrasonun mikrobiyal gelişimi engellemesinin yanı sıra gıdada tekstür, aroma ve besin maddeleri bakımından en az değişikliğe neden olması beklenmektedir. Yapılan araştırmalarda mikrobiyal inaktivasyon ve besin değerlerindeki kayıplar değerlendirilerek uygun işlem parametrelerinin belirlenmesine çalışılmaktadır. Yüksek hidrostatik basınç ve ultrason teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları açısından aydınlatılması gereken daha birçok konu bulunmaktadır.

## Kaynaklar

- Akdemir Evrendilek, G., Çağrı Mehmetoğlu, A., Çoşansu, S. ve Erkmen, O. 2010. Yeni yöntemlerle gıdaların korunması. pp. 307-344. (O. Erkmen Ed. Gıda Mikrobiyolojisi). 2. Baskı. Efil Yayınevi, Ankara.
- Alpas, H. ve Bozoğlu, F. 2000. Yüksek hidrostatik basınç (YHB) değişken parametrelerinin *Listeria innocua* hücrelerinin D ve Z değerleri üzerine etkisi. Gıda. 25 (3) 213-216.
- Alpas, H., Kalchayanand, N., Bozoğlu, F. and Ray, B. 2000. Interactions of high hydrostatic pressure, pressurization temperature and pH on death and injury of pressure-resistant and pressure-sensitive strains of foodborne pathogens. Int. J. of Food Microbiol. 60: 33-42.
- Barton S, Bullock C, Weir D. 1996. The effects of ultrasound on activities of some glycosidase enzymes of industrial importance. Enzyme Microbiol. Technol. 18: 190-194.
- Bignon, J. 1996. Cold pasteurizers hyperbar for the stabilization of fresh fruit juices. Fruit Processing. 2: 46- 48.
- Bozkurt, H ve İçier, F. 2009. UV-C ve ultrason ön işlemlerinin çilek kalitesi üzerine etkileri. Gıda. 34 (5) 279-286.



- Brauch, G., Haensler, U. and Ludwig, H. 1990. The effect of pressure on bacteriophages. *High Pressure Res.* 5: 767-769.
- Butz, P., Habison, G. and Ludwig, H. 1992. Influence of high pressure on a lipid-coated virus. In: *High Pressure and Biotechnology*. (Eds.: R. Hayashi, K. Heremans, P. Masso). Jhon Libby & Co. Ltd. London. 61-64.
- Butz, P., Funtenberger, S., Haberditzil, T. and Tauscher, B. 1996. High pressure inactivation of *Byssoschlamys nivea* ascospores and other heat-resistant moulds. *Lebensm. Wiss. Technol.* 29: 404-410.
- Butz, P. and Tauscher, B. 2002. Emerging Technologies: Chemical Aspects, *Food Res. Int.* 35 (2/3) 279-284.
- Butz, P., Fernández García, A., Lindauer R., Dieterich, S., Bognár, A., Tauscher, B. 2003. Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products. *J. of Food Engineer.* 56: 233-236.
- Cruz, R.M.S., Viera, C.M., Silva, C.L.M. 2008. Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Sci. and Emerging Technol.* 9: 483-488.
- Delgado, A.E., Zheng, D., Sun W. 2008. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. *Food Bioprocess. Technol.* 2: 263-270.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik, J. and Stasiak, D. 2007. Applications of ultrasound in food technology, *ACTA Scientiarum Polonorum - Technologia Alimentaria.* 6 (3) 89-99.
- Farkas, D.F. and Hoover, D.G. 2000. High pressure processing. In: *Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies*. *J. Food Sci. Special Supplement.* 47-64.
- Farr, D. 1990. High pressure technology in the food industry. *Trends in Food Sci. and Technol.* 1: 14-16.
- Feng, H., Yang, W. and Hielscher, T. 2008. Power ultrasound. *Food Sci Technol Int.* 14: 433-436.
- Fernandes, F.A.N. and Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as pre-treated for drying of fruits: Dehydration of banana. *J. Food Engineer.* 82: 261-267.
- Fernandes, F.A.N., Linhares, F.E. and Rodrigues S. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochem.* 15: 1049-1054.
- Frias, J., Penas, E., Ullate, M. and Vidal-Valverde, C. 2010. Influence of drying by convective air dryer or power ultrasound on the vitamin C and  $\beta$ -carotene content of carrots. *J. Agric. Food Chem.* 58: 10539-10544.
- García-Risco, M. R., Olano, A., Ramos, M. and López-Fandiño, R. 2000. Micellar changes induced by high pressure. Influence in the proteolytic activity and organoleptic properties of milk. *J. of Dairy Sci.* 83 (10) 2184-2189.
- Gómez, M., Oliete, B., García-Álvarez, J., Ronda, F. and Salazar, J. 2008. Characterization of cake batters by ultrasound measurements. *J. of Food Engineer.* 89: 408-413.
- Gökmen, V. ve Acar, J. 1995. Yüksek basınç teknolojisinin gıda endüstrisinde uygulamaları, *Gıda.* 20 (3)167-172.
- Heinz, V. and Knorr, D. 1998. High pressure germination and inactivation kinetics of bacterial spores. In: *High pressure food science, bioscience and chemistry*. (Ed.: N.S. Isaacs). The Royal Soc. Chem. Cambridge, UK. 436-441.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I. and Weemaes, C. 1998. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Sci. & Technol.* 9: 197-203.

- Hite, B. H. 1899. The Effect of Pressure in the Preservation of Milk, A Preliminary Report. West Virginia Agricultural Experiment Station, Morgantown, W. VA. Bulletin 58.
- Hoover, D.G., Metrick, C., Papineau, A.M., Farkas, D.F. and Knorr, D. 1989. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technol.* 43: 99-107.
- Hoover, D. G. 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: Ultrasound, *J. of Food Sci.* 93-95.
- Ifuku, Y., Takahashi, Y. and Yamasaki, S. 1993. Ultra high pressure sterilization: A new development in the Japanese fruit juice industry, *Int. Fruchtsaft- Union XXI*, Budapest 4-7 May. 101-113.
- Igual, M., Sampedro, F., Martínez-Navarrete, N. and Fan, X. 2013. Combined osmodehydration and high pressure processing on the enzyme stability and antioxidant capacity of a grapefruit jam. *J. of Food Engineer.* 114: 514-521.
- İbanoğlu, E. ve İbanoğlu, Ş. 2003. Yüksek hidrostatik basınç uygulamasının mısır nişastasının jelatinizasyonu üzerine etkileri. *Gıda.* 28 (3) 273-276.
- Jang, J.H. and Moon, K.D. 2011. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chem.* 124: 444-449.
- Kadhodae, R. and Povey, M.J.W. 2007. Ultrasonic inactivation of *Bacillus α*-amylase. I. Effect of gas content and emitting face of probe. *Ultrasonics Sonochem.* 15: 133-142.
- Knorr, D. 1993. Effects of high hydrostatics pressure processes on food safety and quality. *Food Technol.* 156-161.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V. and Lee, D.U. 2004. Applications and potential of ultrasonic in food processing. *Trends in Food Sci. & Technol.* 15: 261-266.
- Ko, W.C., Jao, C.-L., Hwang, J.-S. and Hsu, K.C. 2006. Effect of high-pressure treatment on processing quality of Tilapia meat fillets. *J. of Food Engineer.* 77: 1007-1011.
- Li, B. and Sun, D.W., 2002. Effect of power ultrasound on freezing rate during immersionfreezing. *J. of Food Engineer.* 55 (3) 277-282.
- Lopez, P. and Burgos, J. 1995. Lipoxigenase inactivation by manothermosonication: Effects of sonication physical parameters, pH, KCl, sugars, glycerol and enzyme concentration. *J. of Agric. and Food Chem.* 43: 620-625.
- Luque de Castro, M.D. and Priego-Capote, F. 2007. Ultrasound-assisted crystallization (sonocrystallization). *Ultrasonics Sonochem.* 14: 717-724.
- Mason, T. J., Riera, E., Vercet, A. and Lopez-Buesa, P. 2005. Application of Ultrasound, Emerging Technologies for Food Processing, Academic Press, USA.
- Matser, A.M., Krebbers, B., Van den Berg R.W. and Bartels, P.V. 2004. Advantages of high pressure sterilization on quality of food products. *Trends in Food Sci. and Technol.* 15: 79-85.
- McClements, D.J., 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Sci. and Technol.* 6: 293-299.
- Messens, W., Van Camp, J. and Huyghebaert, A. 1997. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends in Food Sci. and Technol.* 8: 107-112.
- Metrick, C., Hoover, D.G. and Farkas, D.F. 1989. Effects of high hydrostatic pressure on heat-resistant and heat-sensitive strains of *Salmonella*. *J. Food Sci.* 54: 1547-1564.
- Moerman, F. 2005. High hydrostatic pressure inactivation of vegetative microorganisms, aerobic and anaerobic spores in pork marenngo, a low asidic particulate food product. *Meat Sci.* 69: 225-232.
- Nienaber, U., Shellhammer, T.H. 2001. High-pressure processing of orange juice: Combination treatments and a shelf life study. *J Food Sci.* 66: 332-336

- O'Donnell, C.P., Tiwari, B.K., Bourke, P. and Cullen, P.J. 2010. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Sci. and Technol.* 21: 358–367.
- Park, S.J., Lee, J.I. and Park, J. 2002. Effects of a combined process of high pressure carbon dioxide and high hydrostatic pressure on the quality of carrot juice. *J. of Food Sci.* 67 (5) 1827-1833
- Park, S.J., Park, H.W. and Park, J. 2003. Inactivation kinetics of food poisoning microorganisms by carbon dioxide and high hydrostatic pressure. *J. of Food Sci.* 68 (3) 976-981.
- Park Hugas, M., Garriga, M. and Monfort, J.M. 2002. New mild technologies in meat processing: High pressure as a model technology. *Meat Sci.* 62: 359-371
- Patist, A. and Bates, D. 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 9: 147-154.
- Piyasena, P., Mohareb, E. and McKellar, R.C. 2003. Inactivation of microbes using ultrasound. *Int. J. of Food Microbiol.* 87: 207-216.
- Préstamo, G., Sanz, P.D. and Arroyo, G. 2000. Fruit preservation under high hydrostatic pressure. *High Pressure Research: An Int. J.* 19 (1-6) 145-152.
- Rahman, S.M. 2007. *Handbook of Food Preservation.* (2nd Ed.). CRC Press. London. 713-739.
- Reddy, N.R., Solomon, H.M., Tetzloff, R.C. and Rhodehamel, E.J. 2003. Inactivation of *Clostridium botulinum* type A spores by high pressure processing at elevated temperatures. *J. of Food Protect.* 66 (8) 1402-1407
- Roger, H. 1895. Action des hautes pressions sur quelques bacteries. *Arch. Physiol. Norm. Path.*, 5th series. 7: 12-17.
- Ross, A. I.V., Griffiths, M.W., Mittal, G.S. and Deeth, H.C. 2003. Combining nonthermal technologies to control foodborne microorganisms. *Int. J. of Food Microbiol.* 89: 125-138.
- Russell, N.J. 2002. Bacterial membranes: The effects of chill storage and food processing: An overview. *Int. J. Food Microbiol.* 79: 27-34.
- Soria, A.C. and Willamiel, M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food, *Trends in Food Sci. and Technol.* 21: 323-331
- Soria, A.C. and Willamiel, M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and ACTA scientiarum Polonorum - *Technologia Alimentaria.* 6 (3) 89-99
- Şanal, İ.S. ve Çalıklı, A. 2000. Yüksek hidrostatik basınç teknolojisi ve gıda endüstrisinde uygulamaları. *Gıda.* 25 (3) 193-201.
- Tamaoka, T., Itoh, N. and Hayashi, R. 1991. High HHP effect on maillard reaction. *Agric. Biol. Chem.* 55: 2071-2074
- Ulusoy, H.B., Colak, H. and Hampikyan, H. 2007. The use of ultrasonic waves in food technology. *Res. J. Biol. Sci.* 2: 491-497.
- Vercet, A., Burgos, J., Crelier, S. and Lopez-Buesa, P. 2001. Inactivation of protease and lipase by ultrasound. *Innovative Food Sci. Technol.* 2: 139-150.
- Virone, C., Kramer, H.J.M., Van Rosmalen, G.M., Stoop, A.H. and Bakker, T.W. 2006. Primary nucleation induced by ultrasonic cavitation. *J. Crystal. Growth.* 1: 9-15.
- Wang, J., Cao, Y., Sun, B., Wang, C. and Mo, Y. 2011. Effect of ultrasound on the activity of alliinase from fresh garlic, *Ultrasonics Sonochem.* 18: 534-540.
- Wu, J., Gamage, T.V., Vilku, K.S., Simons, L.K. and Mawson, R. 2008. Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 9: 186-195.
- Zheng, L. and Sun, D.W., 2006. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes a review. *Trends in Food Sci. and Technol.* 17: 16-23.

